

# Multicarrier demodulation with reduction of white frequency distortion

**Publication number:** EP0762703 (A1)

**Publication date:** 1997-03-12

**Inventor(s):** SUEUR BERTRAND [FR]; COMBELLES PIERRE [FR] +

**Applicant(s):** FRANCE TELECOM [FR]; TELEDIFFUSION FSE [FR] +

**Classification:**

- **international:** **H04L25/02; H04L27/26;** (IPC1-7): H04L25/02; H04L27/233; H04L27/26

- **European:** H04L25/02C.7C1A; H04L27/26M5C3

**Application number:** EP19960460030 19960820

**Priority number(s):** FR19950010067 19950821

**Also published as:**

EP0762703 (B1)

FR2738094 (A1)

DE69634107 (T2)

**Cited documents:**

GB2278257 (A)

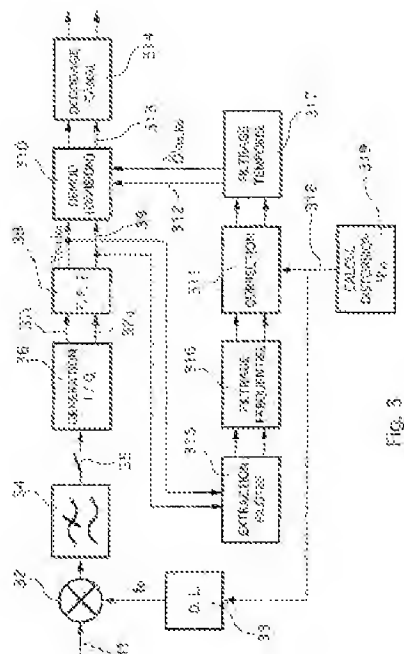
DE4310031 (A1)

EP0453203 (A2)

WO9326096 (A1)

## Abstract of EP 0762703 (A1)

The method involves receiving a signal (31) which is then down-converted (32), filtered (34) and sampled (35) for a phase and quadrature component generator (36). A fast Fourier transform (38) precedes demodulation (310) and channel decoding (314) is performed after correction (311) of the pilot signal between time and frequency filtering stages (316,317). White noise is estimated by interpolation and/or extrapolation for each sample, using prior reference estimates of certain samples. Each reference is previously corrected for each time interval as a function of the variation in distortion since the instant of reception.



Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide



(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
**12.03.1997 Bulletin 1997/11**

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **H04L 27/26**, H04L 25/02,  
H04L 27/233

(21) Numéro de dépôt: **96460030.8**

(22) Date de dépôt: 20.08.1996

(84) Etats contractants désignés:  
**DE ES GB IT SE**

(30) Priorité: 21.08.1995 FR 9510067

(71) Demandeurs:

- **FRANCE TELECOM**  
75015 Paris (FR)
- **TELEDIFFUSION DE FRANCE SA**  
75932 Paris Cédex 15 (FR)

(72) Inventeurs:

- Sueur, Bertrand  
35000 Rennes (FR)
- Combelles, Pierre  
35000 Rennes (FR)

(74) Mandataire: **Vidon, Patrice**  
**Cabinet Patrice Vidon,**  
**Immeuble Germanium,**  
**80, Avenue des Buttes-de-Coesmes**  
**35700 Rennes (FR)**

(54) **Démodulation d'un signal multiporteur diminuant une distorsion blanche en fréquence**

(57) L'invention concerne un procédé de correction de la distorsion subie par un signal multiporteuse formé de symboles modulant une pluralité de fréquences porteuses, selon lequel on détermine par interpolation et/ou extrapolation une estimation ( $\hat{D}_{n_0, k_0}$ ) de ladite distorsion pour chacun des échantillons reçus ( $Y_{n_0, k_0}$ ), à partir d'estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) préalablement déterminées pour certains échantillons, appartenant à un ensemble d'échantillons de référence ( $P^2$ ).

Selon l'invention, chaque estimation de référence ( $D_{n,k}$ ) est corrigée préalablement à ladite interpolation et/ou à ladite extrapolation, pour chaque intervalle de temps ( $n_0$ ), en fonction d'une information représentative de la variation de la distorsion induite sur les échantillons reçus, entre l'instant de réception ( $n$ ) des échantillons servant à la détermination desdites estimations de référence ( $D_{n,k}$ ) et l'intervalle de temps ( $n_0$ ) considéré.

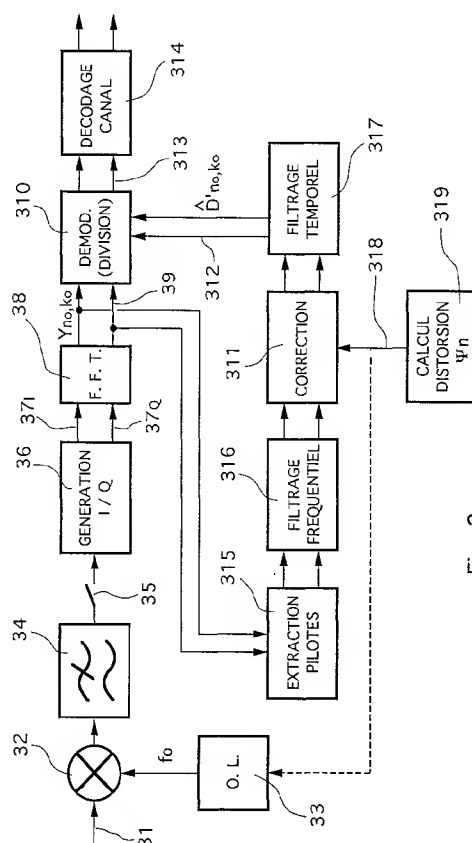


Fig. 3

## Description

Le domaine de l'invention est celui de la réception de signaux multiporteuses. Plus précisément, l'invention concerne la correction de la distorsion subie par un tel signal, en vue notamment de l'optimisation de la démodulation des symboles modulant ce signal. Par distorsion, on entend ici, comme on le verra par la suite, les perturbations blanches en fréquence, qu'elles soient dues au canal de transmission ou au récepteur.

L'invention s'applique à tous les types de signaux mettant en oeuvre une pluralité de fréquences porteuses, c'est-à-dire aux systèmes mettant en oeuvre des signaux transmis selon la technique de multiplexage par répartition en fréquence (en anglais : Frequency Division Multiplex (FDM)), et par exemple le système COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (multiplexage de fréquences orthogonales codées)), mis en oeuvre notamment dans le cadre du projet européen Eurêka 147 "DAB" (Digital Audio Broadcasting (diffusion audionumérique)), et également pressenti pour la transmission de signaux de télévision par voie hertzienne ou paire torsadée par exemple.

Dans de tels systèmes de transmission, les données source à transmettre sont organisées en symboles (constitués d'une ou plusieurs données source) modulant chacun, pendant un intervalle de temps prédéterminé, une fréquence porteuse choisie parmi une pluralité de porteuses. Le signal formé par l'ensemble des porteuses modulées est transmis vers un ou plusieurs récepteurs, qui reçoivent un signal émis perturbé par le canal de transmission.

La démodulation consiste généralement, dans son principe, à estimer la réponse du canal de transmission pour chaque symbole, puis à diviser le signal reçu par cette estimation pour obtenir une estimation du symbole émis.

On connaît de nombreuses techniques de démodulation, qui peut être différentielle ou cohérente. Une technique facilitant la démodulation cohérente à l'aide de symboles de référence connus des récepteurs et régulièrement insérés parmi les symboles utiles est par exemple décrite dans le brevet FR-90 01491 au nom des mêmes déposants.

Le problème majeur de ces techniques connues est que l'estimation de la réponse du canal obtenue n'est pas toujours exacte ni précise, car elle peut être perturbée par une distorsion blanche en fréquence induite par le récepteur ou dans une moindre mesure pour l'émetteur.

En d'autres termes, en convenant de noter, dans un système multiporteuse,  $n$  l'indice temporel et  $k$  l'indice fréquentiel ( $n$  et  $k$  appartenant à  $\mathbf{Z}$ ), à l'émission, chaque porteuse  $k$  d'un symbole  $n$  est donc modulée par un symbole  $C_{n,k}$  complexe.

Si l'on note  $H_{n,k}$  la réponse complexe du canal de transmission, alors on reçoit :

$$Y_{n,k} = H_{n,k} \cdot C_{n,k} \cdot \varnothing_n + \text{bruit blanc} \quad (1)$$

Le bruit blanc est un terme que l'on néglige par la suite.

$\varnothing_n$  est un terme complexe, a priori variable en phase et amplitude qui ne dépend que de  $n$ , et décrit donc n'importe quelle distorsion "blanche" en fréquence qui entache le signal reçu. Les  $\varnothing_n$  sont supposés peu corrélés de symbole en symbole.

Le recouvrement par le récepteur de l'information  $C_{n,k}$  transmise implique de savoir isoler le terme  $C_{n,k}$  à partir de l'équation (1), par division du  $Y_{n,k}$  reçu par une valeur estimée de  $H_{n,k} \cdot \varnothing_n$ .

L'état de l'art consiste à obtenir d'abord une estimation du produit  $H_{n,k} \cdot \varnothing_n$ , notée  $D_{n,k}$  (D comme "distorsion") dans la suite, pour certains couples  $(n,k)$  de  $\mathbf{Z} \times \mathbf{Z}$ . On note  $\mathbf{P}^2$  le sous-ensemble de  $\mathbf{Z} \times \mathbf{Z}$  formé des couples  $(n,k)$  pour lesquels une première valeur de  $D_{n,k}$  est estimée par le récepteur.

Une façon souvent utilisée pour obtenir un tel sous-ensemble consiste à insérer à l'émission dans la trame des "pilotes" (ou symboles de référence), c'est-à-dire à émettre pour certaines valeurs de  $k$  et de  $n$  - prédéterminées à l'avance et connues du récepteur - des valeurs  $C_{n,k}$  particulières a priori connues du récepteur. Cette méthode n'est toutefois qu'un exemple, et tout autre méthode adéquate peut être utilisée.

Les valeurs  $\hat{D}_{n_0, k_0}$  pour toutes les valeurs  $n_0$  et  $k_0$  possibles dans  $\mathbf{Z}$  sont ensuite calculées par le récepteur par interpolation et/ou extrapolation des valeurs  $D_{n,k}$ , avec  $(n,k)$  appartenant à  $\mathbf{P}^2$ .

L'état de l'art consiste à définir la fonction  $f(n_0, k_0)$  de calcul de  $\hat{D}_{n_0, k_0}$ , à partir des  $D_{n,k}$ ,  $(n,k)$  appartenant à  $\mathbf{P}^2$ .

Un problème majeur, détecté par les inventeurs mais non expressément connu de l'homme du métier, vient du fait que le  $\hat{D}_{n_0, k_0}$  ainsi estimé ne permet pas de distinguer chacun des deux termes du produit :  $\hat{D}_{n_0, k_0} = \hat{H}_{n_0, k_0} \cdot \hat{\varnothing}_{n_0, k_0}$ , où  $\hat{H}_{n_0, k_0}$  désigne ce qu'aurait été le résultat de  $f(n_0, k_0)$  si tous les  $D_{n,k}$  ( $= H_{n,k} \cdot \varnothing_n$ ) servant de base au calcul vérifiaient  $\varnothing_n = 1$ .

L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients.

Ainsi, un objectif de la présente invention est de fournir un procédé d'estimation de la distorsion subie par un signal multiporteuse, et un dispositif correspondant, permettant notamment d'optimiser la démodulation des symboles formant le signal reçu :

Plus précisément, l'invention a pour objectif de fournir un tel procédé, tenant compte des distorsions induites par

les récepteurs.

Un autre objectif de l'invention est de fournir un tel procédé de démodulation, dans lequel l'estimation de la réponse du canal de transmission est optimisée, quelques soient les distorsions induites par les récepteurs.

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints selon l'invention par un procédé de correction de la distorsion subie par un signal multiporteuse formé de symboles modulant une pluralité de fréquences porteuses,

selon lequel on détermine par interpolation et/ou extrapolation une estimation ( $\hat{D}'_{n_0, k_0}$ ) de ladite distorsion pour chacun des échantillons reçus ( $Y_{n_0, k_0}$ ), à partir d'estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) préalablement déterminées pour certains échantillons, appartenant à un ensemble d'échantillons de référence ( $P^2$ ),

procédé selon lequel chaque estimation de référence ( $D_{n, k}$ ) est corrigée préalablement à ladite interpolation et/ou à ladite extrapolation, pour chaque intervalle de temps ( $n_0$ ), en fonction d'une information représentative de la variation de la distorsion blanche en fréquences induite sur les échantillons reçus, entre l'instant de réception ( $n$ ) des échantillons servant à la détermination desdites estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) et l'intervalle de temps ( $n_0$ ) considéré.

En d'autres termes, l'invention propose d'améliorer l'estimation des distorsions, en corrigeant les informations de référence utilisées pour cette estimation, préalablement au calcul correspondant d'estimation, de façon que ces informations de référence reflètent, à chaque instant de réception, les mêmes distorsions que les symboles reçus.

Ainsi, de façon avantageuse, on affecte chacune desdites estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) d'une distorsion sensiblement égale à la distorsion subie par le signal reçu entre l'instant de réception ( $n$ ) des échantillons servant à la détermination desdites estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) et l'intervalle de temps ( $n_0$ ) considéré.

Les éléments de référence se voient donc affectés de la même distorsion que les symboles à démoduler. En d'autres termes, on ne cherche pas, selon l'invention, à supprimer l'effet sur l'estimation des distorsions blanches en fréquences, mais on fait en sorte qu'il soit compensé. En d'autres termes encore, il s'agit d'une approche relative de la correction des effets de la distorsion blanche en fréquence.

Avantageusement, le procédé de l'invention comprend les étapes suivantes :

- détermination de l'écart relatif de distorsion ( $\psi_n \in \mathbb{C}$ ) induite par le récepteur entre deux intervalles de temps ( $n-1$  et  $n$ ) consécutif,

$$\psi_n = \frac{\phi_n}{\phi_{n-1}} \quad \forall n \in \mathbb{Z};$$

- pour chaque échantillon reçu ( $Y_{n_0, k_0}$ ), correction des estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) à prendre en compte de la façon suivante :

$$\begin{cases} D'_{n, k} + D_{n, k} \cdot \sum_{i=n+1}^{n_0} \psi_i & \text{si } n < n_0 \\ D'_{n, k} = D_{n, k} & \text{si } n = n_0 \\ D'_{n, k} = D_{n, k} \cdot \frac{1}{\prod_{i=n_0+1}^n \psi_i} & \text{si } n > n_0 \end{cases}.$$

- interpolation et/ou extrapolation par f d'une estimation ( $\hat{D}'_{n_0, k_0}$ ) à partir desdites estimations corrigées ( $D'_{n, k}$ ) pour ledit symbole reçu ( $Y_{n_0, k_0}$ ).

De façon avantageuse, notamment lorsque les distorsions blanches en fréquence correspondent essentiellement à des variations instantanées (ou du moins à leurs moyennes sur la durée d'un symbole) de la fréquence d'oscillation d'un ou plusieurs oscillateurs et peuvent s'écrire  $\phi_n = e^{j\theta n}$  (c'est très souvent le cas), lesdites estimations corrigées ( $D'_{n, k}$ ) peuvent être approximées de la façon suivante :

$$\begin{cases} D'_{n,k} \approx D_{n,k} \cdot (1 + j \cdot \sum_{i=n+1}^{n_0} \delta_i) & \text{si } n < n_0 \\ D'_{n,k} \approx D_{n,k} \cdot (1 - j \cdot \sum_{i=n_0+1}^n \delta_i) & \text{si } n > n_0 \end{cases}$$

où :  $\delta_n = \theta_n - \theta_{n-1}$  avec  $\phi_n = e^{j\theta_n}$ .

Comme indiqué précédemment, ladite estimation ( $\hat{D}'_{n,k}$ ) peut en particulier être utilisée pour diviser l'échantillon reçu ( $Y_{n_0,k_0}$ ), de façon à délivrer un symbole source estimé ( $\hat{C}_{n,k}$ ).

Selon un mode de réalisation préférentiel de l'invention, correspondant à une démodulation cohérente, lesdits échantillons de référence correspondent à des pilotes, de valeur et de position dans l'espace temps-fréquence connues des récepteurs. Cette technique est bien sûr connue en elle-même.

Selon un autre mode de réalisation, correspondant à une démodulation différentielle, lesdits échantillons de référence sont obtenus de la façon suivante :

$$\forall n_0, k_0 \in \mathbb{Z}, \hat{D}_{n_0, k_0} = D_{n_0-i, k_0}$$

avec  $i$  entier petit (typiquement,  $i=1$ ).

De façon avantageuse, ladite information ( $\psi_n$ ) représentative de la distorsion induite par le récepteur peut être obtenue, pour chaque échantillon reçu, de la façon suivante :

- décision dure de la valeur de chacun desdits échantillons, par association à chacun desdits échantillons de l'élément de données le plus probable, parmi une constellation d'éléments de données formant un alphabet de modulation ;
- détermination d'un décalage de phase entre chacun desdits échantillons et son élément de donnée associé ;
- estimation de ladite information ( $\psi_n$ ), en fonction de plusieurs décalages de phase correspondant à des fréquences porteuses différentes et à un même intervalle de temps.

Cette technique est également connue en elle-même, et décrite en particulier dans la demande de brevet FR-94 07984 au nom des mêmes déposants.

Selon un autre mode de réalisation avantageux, ladite information ( $\psi_n$ ) représentative de la distorsion induite par le récepteur est obtenue par analyse d'une ou plusieurs fréquences pilotes portant en continu une information de référence fixe et connue des récepteurs.

Dans le cas où l'opération d'interpolation et/ou d'extrapolation comprend une étape d'interpolation et/ou d'extrapolation fréquentielle suivie d'une étape d'interpolation et/ou d'extrapolation temporelle, il peut être avantageux que l'étape de correction des estimations de référence soit effectuée entre ladite étape d'interpolation et/ou d'extrapolation fréquentielle et ladite étape d'interpolation et/ou d'extrapolation temporelle.

L'invention concerne également les dispositifs de correction de la distorsion mettant en oeuvre un tel procédé.

Préférentiellement, un tel dispositif, du type comprenant des moyens de détermination d'estimations de référence ( $D_{n,k}$ ) préalablement déterminées pour certains échantillons, appartenant à un ensemble d'échantillons de référence ( $P^2$ ), et des moyens d'interpolation et/ou d'extrapolation d'une estimation ( $\hat{D}_{n_0, k_0}$ ) de ladite distorsion pour chacun des échantillons reçus ( $Y_{n_0, k_0}$ ), à partir desdites estimations de référence ( $D_{n,k}$ ), comprend des moyens de calcul d'une information représentative de la variation de la distorsion blanche en fréquence induite sur les échantillons reçus, entre l'instant de réception ( $n$ ) des échantillons servant à la détermination desdites estimations de référence ( $D_{n,k}$ ) et un intervalle de temps ( $n_0$ ) donné, et des moyens de correction de chaque estimation de référence ( $D_{n,k}$ ) délivrée auxdits moyens d'interpolation et/ou d'extrapolation, en fonction de ladite information représentative de la variation de ladite distorsion induite par le récepteur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 illustre de façon générale le procédé de correction des distorsions de l'invention ;
- la figure 2 illustre un mode de réalisation particulier du procédé de l'invention, dans lequel on distingue deux étapes d'interpolation et/ou d'extrapolation ;
- la figure 3 est un synoptique simplifié d'un dispositif de correction des distorsions selon l'invention, dans le cas où

le signal transmis inclus des pilotes de référence.

Comme indiqué précédemment, la technique connue pour estimer les distorsions subies par les symboles d'un signal multiporteuse consiste à définir une fonction  $f(n_0, k_0)$  de calcul de  $\hat{D}_{n_0, k_0}$  pour tout  $n_0$  et  $k_0$  de  $\mathbf{Z}$ , à partir des  $D_{n, k}$  appartenant à  $\mathbf{P}^2$ .

L'invention est applicable à toute fonction  $f$ . Elle permet d'améliorer l'estimation des  $\hat{D}_{n_0, k_0}$  issues du calcul de  $f(n_0, k_0)$ , en modifiant préalablement les  $D_{n, k}$  appartenant à  $\mathbf{P}^2$  qui servent de base à ce calcul, sans préjuger de la façon dont ces  $D_{n, k}$  ont été obtenus.

Ainsi, quelle que soit cette fonction  $f$ , on prévoit selon l'invention une étape supplémentaire, qui précède (ou qui s'insère dans) le calcul de  $f(n_0, k_0)$ , de façon à rendre ce dernier plus exact.

La figure 1 illustre de façon générale le procédé de l'invention, tel qu'il s'insère dans le traitement d'un signal multiporteuse.

Le signal transmis est tout d'abord, lors d'une première étape 11 connue de réception, restitué sous la forme de symboles  $Y_{n_0, k_0}$  tels que décrits en préambule. Selon une méthode quelconque, on obtient (12) la série de références  $D_{n, k}$ .

Une première façon connue, mise en oeuvre pour faciliter la démodulation cohérente du signal reçu, consiste à insérer à l'émission dans la trame des "pilotes", c'est-à-dire à émettre pour certaines valeurs de  $k$  et de  $n$ , prédéterminées et connues des récepteurs, des valeurs  $C_{n, k}$  particulières et connues a priori des récepteurs. Cette technique est notamment présentée dans le document de brevet FR-90 01491 déjà cité.

On note  $P_{n, k}$  ces pilotes, et on réserve par la suite la notation  $C_{n, k}$  aux vecteurs a priori inconnus des récepteurs, c'est-à-dire porteurs d'informations. Bien sûr, pour des raisons de maximalisation du débit utile transmis, le nombre de vecteurs  $C_{n, k}$  sacrifiés en  $P_{n, k}$  doit être aussi faible que possible. On note  $\mathbf{P}^2$  le sous-ensemble de  $\mathbf{Z} \times \mathbf{Z}$  des couples  $(n, k)$  tels que la porteuse indicée  $k$  du symbole  $n$  porte un pilote  $P_{n, k}$ .

Puisque  $P_{n, k}$  est a priori connu du récepteur, celui-ci peut calculer la division  $Y_{n, k}/P_{n, k}$  et obtenir ainsi une estimation du produit  $H_{n, k} \cdot \phi_n$ , notée  $D_{n, k}$  pour tous les couples  $(n, k)$  de  $\mathbf{P}^2$ .

Une seconde méthode connue (démodulation différentielle), consiste à prendre comme références les symboles reçus précédemment, soit :

$$\forall n_0, k_0 \in \mathbf{Z}, \hat{D}_{n_0, k_0} = D_{n_0 - i, k_0}$$

avec  $i$  entier petit (typiquement,  $i=1$ ).

$D_{n_0 - i, k_0}$  est supposé obtenu par ailleurs dans le récepteur.

On calcule également (13) les distorsions induites par le récepteurs, de façon à obtenir une estimation de  $\Psi_n$  (appartenant à  $\mathbf{C}$ ), soit :

$$\Psi_n = \frac{\phi_n}{\phi_{n-1}} \quad \forall n \in \mathbf{Z}$$

Cette estimation peut s'obtenir par exemple par la méthode décrite dans la demande de brevet déjà citée FR-94 07894. Dans ces grandes lignes, cette méthode consiste à effectuer les trois étapes suivantes :

- décision dure de la valeur de chacun desdits échantillons, par association à chacun desdits échantillons de l'élément de données le plus probable, parmi une constellation d'éléments de données formant un alphabet de modulation ;
- détermination d'un décalage de phase entre chacun desdits échantillons et son élément de donnée associé ;
- estimation de ladite information ( $\psi_n$ ), en fonction de plusieurs décalages de phase correspondant à des fréquences porteuses différentes et à un même intervalle de temps.

Le document précité précise diverses techniques permettant d'affiner le calcul de l'erreur de phase résiduelle.

Une autre technique permettant la détermination de  $\psi_n$  est la transmission en permanence, sur au moins une fréquence porteuse, d'une référence continue. Le calcul est alors direct, par simple comparaison entre deux instants de réception consécutifs.

La fonction d'interpolation et/ou d'extrapolation  $f(n_0, k_0)$  déjà décrite permet d'obtenir une estimation de  $\hat{D}_{n_0, k_0}$  à partir des  $D_{n, k}$  où  $(n, k)$  appartient à  $\mathbf{P}^2$ . Mais cette interpolation/extrapolation  $\hat{D}_{n_0, k_0}$  du produit  $\hat{H}_{n_0, k_0} \cdot \hat{\phi}_{n_0, k_0}$  n'est réellement correcte que pour le terme  $H_{n_0, k_0}$  (sous l'hypothèse que les caractéristiques du canal de transmission, en termes d'échos, ne varient pas trop vite). Elle est en revanche incorrecte pour le terme  $\hat{\phi}_{n_0, k_0}$ , et ce d'autant plus que les  $\phi_n$

sont moins corrélés de symbole en symbole, et donc sont difficilement interpolables et/ou extrapolables.

L'estimation classique :

$$\hat{C}_{n_0, k_0} = \frac{Y_{n_0, k_0}}{\hat{D}_{n_0, k_0}}$$

sera alors biaisée.

Selon l'invention, on prévoit une étape 14 de correction des références  $D_{n,k}$  ( $n, k$ ) appartenant à  $\mathbf{P}^2$ , avant l'interpolation/extrapolation 15. Cette correction consiste à compenser, à chaque instant de réception, l'effet de  $\phi_n$ .

Ainsi, chaque terme  $D_{n,k}$  ( $n, k$ ) appartenant à  $\mathbf{P}^2$  et tel que  $n < n_0$  entrant dans le calcul de  $f(n_0, k_0)$  est remplacé par :

$$D'_{n,k} = D_{n,k} \cdot \prod_{i=n+1}^{n_0} \Psi_i \quad (2)$$

soit :

$$D'_{n,k} = D_{n,k} \frac{\phi_{n_0}}{\phi_n} = H_{n,k} \cdot \phi_{n_0}$$

De même, chaque terme  $D_{n,k}$  ( $n, k$ ) appartenant à  $\mathbf{P}^2$  et tel que  $n > n_0$  entrant dans le calcul de  $f(n_0, k_0)$  est remplacé par :

$$D'_{n,k} = D_{n,k} \frac{1}{\prod_{i=n_0+1}^n \Psi_i} \quad (3)$$

soit :

$$D'_{n,k} = D_{n,k} \frac{\phi_{n_0}}{\phi_n} = H_{n,k} \cdot \phi_{n_0}$$

Dans le cas particulier où des termes  $D_{n_0,k}$  (pour tout  $k$  appartenant à  $\mathbf{Z}$  ; éventuellement  $k$  peut même prendre la valeur  $k_0$ ) entreraient dans le calcul de  $f(n_0, k_0)$ , alors ces termes ne sont pas modifiés selon le calcul ci-dessus, mais restent inchangés.

En d'autres termes :

$$D'_{n_0,k} = D_{n_0,k} = H_{n_0,k_0} \cdot \phi_{n_0} \quad \forall k \in \mathbf{Z}.$$

Dans le cas de la démodulation différentielle, l'étape 14 de correction consiste simplement à remplacer  $D_{n_0-i, k_0}$  par :

$$D_{n_0-i, k_0} \cdot \frac{\phi_{n_0}}{\phi_{n_0-i}}$$

avec  $i$  petit, et par exemple égal à 1.

Ensuite, on effectue classiquement le calcul d'interpolation et/ou d'extrapolation  $f(n_0, k_0)$  15, pour tous les  $n_0$  et  $k_0$  de  $\mathbf{Z}$ , mais cette fois à partir des  $D'_{n,k}$ . Une méthode pour ce faire est par exemple décrite dans le brevet FR-94 07984, et rapidement commentée par la suite en relation avec la figure 2.

On appelle  $\hat{D}_{n_0, k_0}$  le résultat du calcul de  $f(n_0, k_0)$  ainsi modifié.

La démodulation 16, c'est-à-dire l'estimation de l'information transmise se fait alors classiquement par :

$$\hat{C}_{n_0, k_0}' = \frac{Y_{n_0, k_0}}{\hat{D}_{n_0, k_0}'}$$

Typiquement,  $\phi_n$  peut décrire les variations instantanées de fréquence de l'oscillateur (ou des oscillateurs) local du récepteur, nécessairement imparfait, ou du moins la valeur moyennée sur la durée d'un symbole de ces variations.

Ces variations sont parfois appelées "bruit de phase".  $\phi_n$  peut alors se noter  $e^{j\theta_n}$ .

Le terme

$$\prod_p^q \Psi_n$$

peut alors être avantageusement remplacé par :

$$e^{j \sum_p^q \delta_n}$$

où

$$\delta_n = \theta_n - \theta_{n-1}$$

Si

$$\sum_p^q \delta_n$$

est petit, le terme exponentiel ci-dessus peut être approximé de la façon suivante :

$$e^{j \sum_p^q \delta_n} \approx 1 + j \sum_p^q \delta_n$$

et les formules (2) et (3) deviennent alors respectivement :

$$D'_{n,k} \approx D_{n,k} \cdot (1 + j \sum_{i=n+1}^{n_0} \delta_i)$$

si  $n < n_0$

$$D'_{n,k} \approx D_{n,k} \cdot (1 - j \sum_{i=n_0+1}^n \delta_i)$$

si  $n_0 < n$



Bien que la figure 1 illustre, par souci de simplification, une série d'étapes successives, il est clair que certains calculs peuvent être faits en parallèle.

La figure 2 illustre un mode de mise en oeuvre particulier de l'invention, dans lequel l'opération  $f(n_0, k_0)$  d'interpolation et/ou d'extrapolation peut se décomposer en une fonction  $g$  d'interpolation et/ou d'extrapolation fréquentielle 21 suivie d'une fonction  $h$  d'interpolation et/ou d'extrapolation temporelle 22, il peut être avantageux (mais cela n'est pas obligatoire), pour des raisons de simplicité, d'insérer l'étape de correction 23 de l'invention entre les calculs de  $g$  (21) et  $h$  (22), et non plus avant le calcul de  $g$ .

La procédure de calcul de correction reste bien sûr la même.

La figure 3 illustre de façon simplifiée d'un mode de réalisation particulier d'un récepteur mettant en oeuvre l'invention.

Le signal reçu 31 est tout d'abord transposé en fréquence basse par un multiplieur 32 contrôlé par un oscillateur local 33 délivrant la fréquence de transposition  $f_0$ . Puis le signal transposé est filtré par un filtre passe-bas ou passe-bande 34, et converti en un signal numérique par un échantillonneur 35. Ensuite, un module 36 de génération des composantes en phase et en quadrature délivre les voies  $37_I$  et  $37_Q$ .

Dans le cas du COFDM, les voies I et Q sont soumises à une transformation mathématique F.F.T. 38, qui délivre les échantillons  $39_{Y_{n_0, k_0}}$ .

Les  $Y_{n_0, k_0}$  39 sont démodulés (310) selon le procédé décrit précédemment, par division par  $\hat{D}_{n_0, k_0}^*$  312 pour fournir les symboles estimés  $\hat{C}_{n_0, k_0}$  313, qui subissent ensuite classiquement un décodage canal 314, puis la suite du traitement jusqu'à la restitution du signal source.

Les  $Y_{n_0, k}$  39 alimentent par ailleurs un module 315 d'extraction des pilotes  $D_{n, k}$  qui subissent un premier filtrage fréquentiel 316 puis un second filtrage temporel 317 pour fournir  $\hat{D}_{n_0, k_0}$  312 au démodulateur 310.

Selon l'invention, un module de correction 311 est inséré entre les deux modules de filtrage 316 et 317 pour modifier les données délivrés par les modules d'analyse des pilotes 315 et 316. Cette correction tient compte d'une information 318 de distorsion (bruit de phase du récepteur notamment), délivrée par un module 319 de calcul de cette distorsion. Il est à noter que ce module 319 est déjà présent dans certains récepteurs, notamment pour piloter l'oscillateur local 33 et/ou le générateur I/Q 36.

Dans la pratique, les différents modules, ou au moins certains d'entre eux, peuvent bien sûr être regroupés dans un calculateur unique. Par ailleurs, il est clair que d'autres modes de réalisation peuvent être envisagés.

## Revendications

1. Procédé de correction de la distorsion subie par un signal multiporteuse formé de symboles modulant une pluralité de fréquences porteuses, selon lequel on détermine par interpolation et/ou extrapolation une estimation ( $\hat{D}_{n_0, k_0}^*$ ) de ladite distorsion pour chacun des échantillons reçus ( $Y_{n_0, k_0}$ ), à partir d'estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) préalablement déterminées pour certains échantillons, appartenant à un ensemble d'échantillons de référence ( $P^2$ ), caractérisé en ce que chaque estimation de référence ( $D_{n, k}$ ) est corrigée préalablement à ladite interpolation et/ou à ladite extrapolation, pour chaque intervalle de temps ( $n_0$ ), en fonction d'une information représentative de la variation de la distorsion induite sur les échantillons reçus, entre l'instant de réception ( $n$ ) des échantillons servant à la détermination desdites estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) et l'intervalle de temps ( $n_0$ ) considéré.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on affecte chacune desdites estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) d'une distorsion sensiblement égale à la distorsion subie par le signal reçu entre l'instant de réception ( $n$ ) des échantillons servant à la détermination desdites estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) et l'intervalle de temps ( $n_0$ ) considéré.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
  - détermination de l'écart relatif de distorsion ( $\psi_n$ ) induite par le récepteur entre deux intervalles de temps ( $n-1$  et  $n$ ) consécutifs ;
  - pour chaque échantillon reçu ( $Y_{n_0, k_0}$ ) correction des estimations de référence ( $D_{n, k}$ ) à prendre en compte de la façon suivante :

$$\begin{cases}
 D'_{n,k} = D_{n,k} \cdot \prod_{i=n+1}^{n_0} \psi_i & \text{si } n < n_0 \\
 D'_{n,k} = D_{n,k} & \text{si } n = n_0 \\
 D'_{n,k} = D_{n,k} \cdot \frac{1}{\prod_{i=n_0+1}^n \psi_i} & \text{si } n > n_0
 \end{cases}$$

- interpolation et/ou extrapolation d'une estimation ( $\hat{D}'_{n_0, k_0}$ ) à partir desdites estimations corrigées ( $D'_{n,k}$ ) pour ledit symbole reçu ( $Y_{n_0, k_0}$ ).

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdites estimations corrigées ( $D'_{n,k}$ ) sont approximées de la façon suivante :

$$\begin{cases}
 D'_{n,k} \approx D_{n,k} \cdot (1 + j \sum_{i=n+1}^{n_0} \delta_i) & \text{si } n < n_0 \\
 D'_{n,k} \approx D_{n,k} \cdot (1 - j \sum_{i=n_0+1}^n \delta_i) & \text{si } n_0 < n
 \end{cases}$$

Bien que la figure 1 illustre, par so  
où :  $\delta_n = \theta_n - \theta_{n-1}$  avec  $\phi_{n-1} = e^{j\theta_{n-1}}$ .

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ladite estimation ( $\hat{D}'_{n_0, k_0}$ ) est utilisée pour diviser l'échantillon reçu ( $Y_{n_0, k_0}$ ), de façon à délivrer un symbole source estimé ( $\hat{D}_{n_0, k_0}$ ).
6. Procédé selon l'une quelconque de revendications 1 à 5, caractérisé en ce que lesdits échantillons de référence correspondent à des pilotes, de valeur et de position dans l'espace temps-fréquence connues des récepteurs.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lesdits échantillons de référence sont obtenus de la façon suivante :

$$\forall n_0, k_0 \in \mathbb{Z}, \hat{D}_{n_0, k_0} = D_{n_0 - i k_0}$$

avec  $i$  entier petit (typiquement,  $i=1$ ).

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ladite information ( $\psi_n$ ) représentative de la distorsion induite par le récepteur est obtenue, pour chaque échantillon reçu, selon une des techniques suivantes :

- réalisation des étapes suivantes :

- décision dure de la valeur de chacun desdits échantillons, par association à chacun desdits échantillons de l'élément de données le plus probable, parmi une constellation d'éléments de données formant un alphabet de modulation ;
- détermination d'un décalage de phase entre chacun desdits échantillons et son élément de donnée associé ;
- estimation de ladite information ( $\psi_n$ ), en fonction de plusieurs décalages de phase correspondant à des fréquences porteuses différentes et à un même intervalle de temps ; ou

- analyse d'au moins une fréquence pilote portant en continu une information de référence fixe et connue des récepteurs.

- 5 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'opération d'interpolation et/ou d'extrapolation comprend une étape d'interpolation et/ou d'extrapolation fréquentielle suivie d'une étape d'interpolation et/ou d'extrapolation temporelle, et en ce que l'étape de correction des estimations de référence est effectuée entre ladite étape d'interpolation et/ou d'extrapolation fréquentielle et ladite étape d'interpolation et/ou d'extrapolation temporelle.
- 10 10. Dispositif de correction de la distorsion globale subie par un signal multiporteuse formé de symboles modulant une pluralité de fréquences porteuses, pendant un intervalle de temps donné, du type comprenant des moyens de détermination d'estimations de référence ( $D_{n,k}$ ) préalablement déterminées pour certains échantillons, appartenant à un ensemble d'échantillons de référence ( $P^2$ ), et des moyens d'interpolation et/ou d'extrapolation d'une estimation ( $\hat{D}_{n_0,k_0}$ ) de ladite distorsion pour chacun des échantillons reçus
- 15 ( $Y_{n_0,k_0}$ ), à partir desdites estimations de référence ( $D_{n,k}$ ), caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de calcul d'une information représentative de la variation de la distorsion induite par le récepteur sur les échantillons reçus, entre l'instant de réception ( $n$ ) des échantillons servant à la détermination desdites estimations de référence ( $D_{n,k}$ ) et un intervalle de temps ( $n_0$ ) donné, et des moyens de correction de chaque estimation de référence ( $D_{n,k}$ ) délivrée auxdits moyens d'interpolation et/ou d'extrapolation, en fonction de ladite information représentative de la variation de la distorsion induite sur le signal.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

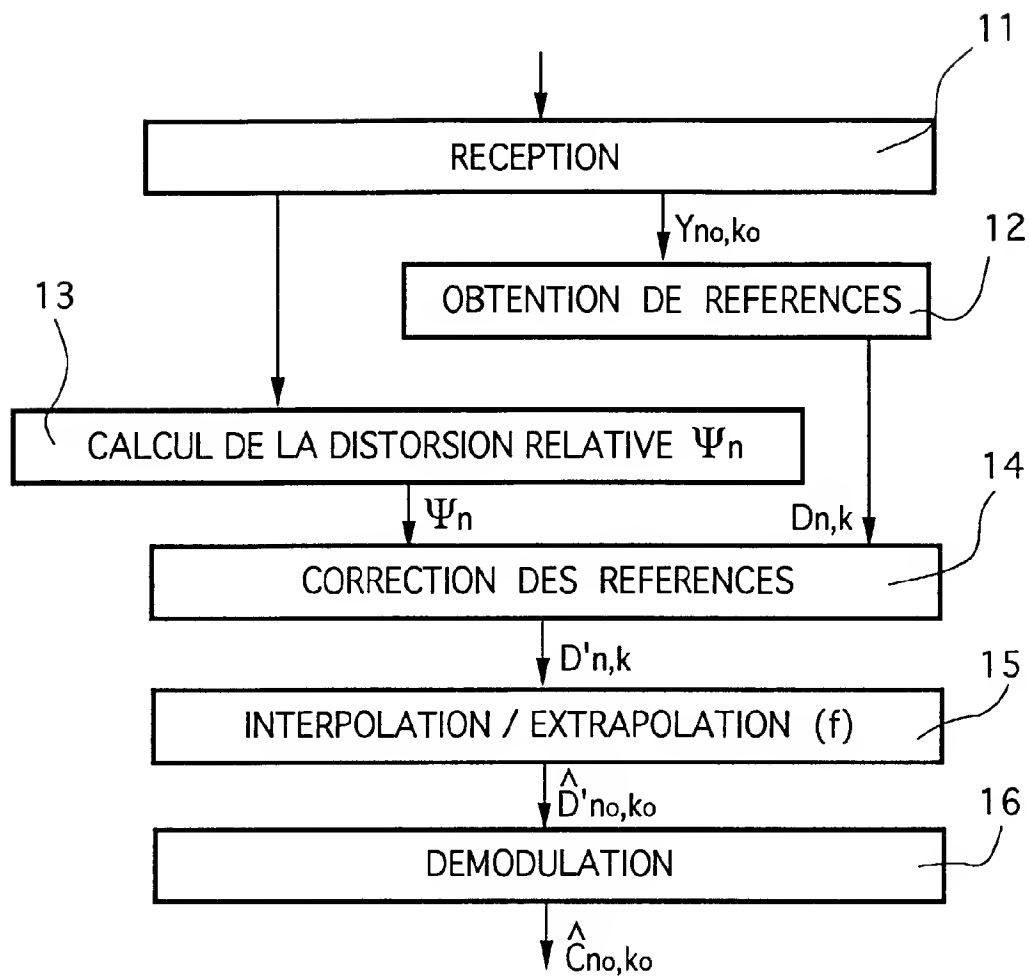


Fig. 1

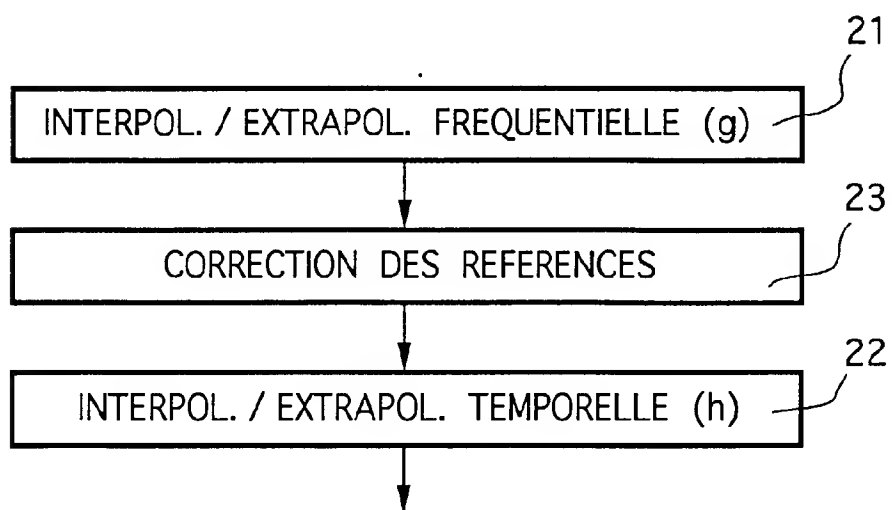


Fig. 2

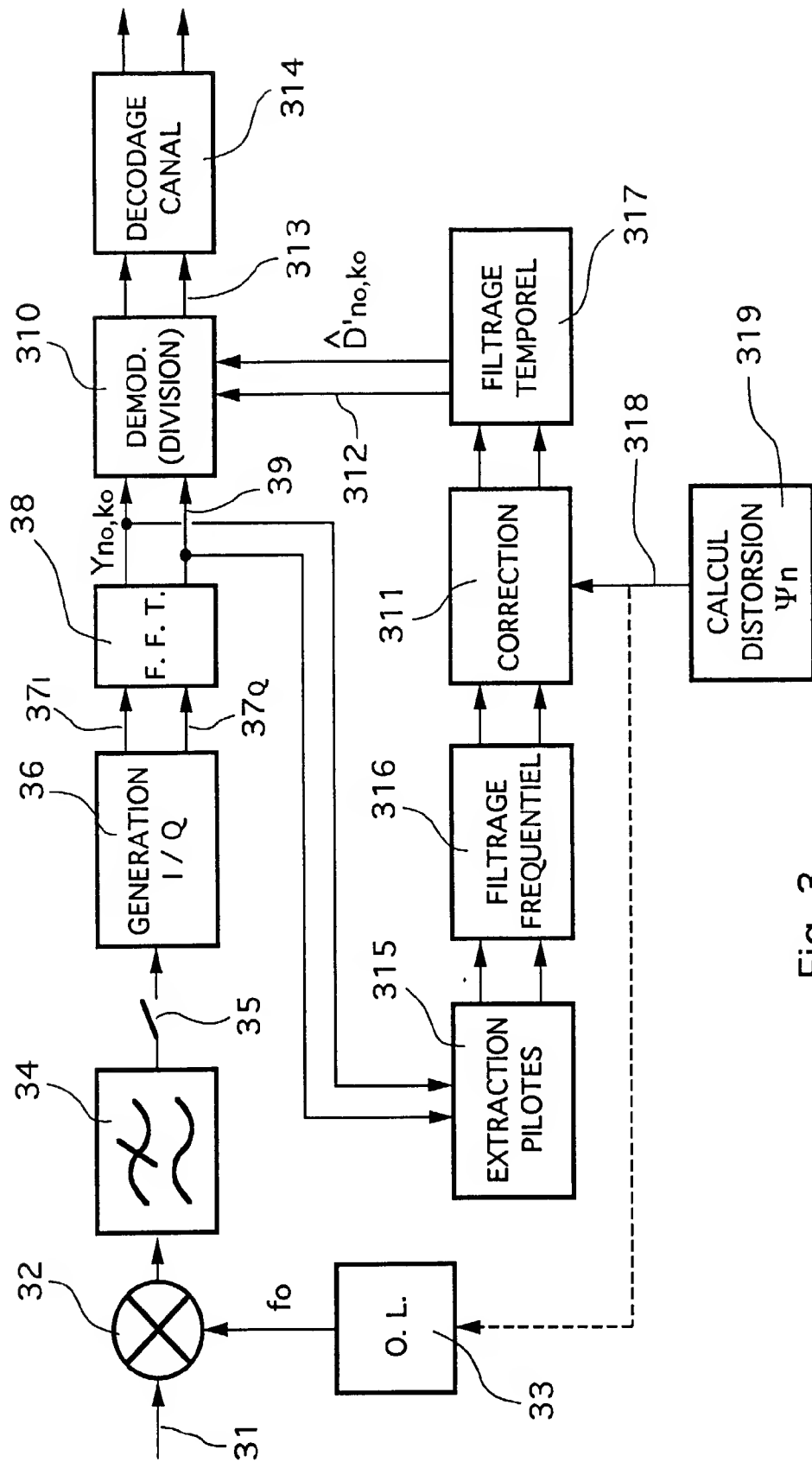


Fig. 3



Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 96 46 0030

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
X	GB 2 278 257 A (BRITISH BROADCASTING CORPORATION) 23 Novembre 1994 * abrégé * * page 2, ligne 27 - page 3, ligne 6 * * page 3, ligne 32 - page 4, ligne 5 * ---	1-10	H04L27/26 H04L25/02 H04L27/233
X	DE 43 10 031 A (GRUNDIG) 29 Septembre 1994 * abrégé * * colonne 2, ligne 6 - ligne 21 * * colonne 2, ligne 28 - ligne 32 * * colonne 3, ligne 51 - ligne 57 * * colonne 4, ligne 29 - ligne 44 * ---	1-10	
X	EP 0 453 203 A (TELEBIT ) 23 Octobre 1991 * abrégé; figure 2 * * page 4, ligne 51 - page 5, ligne 21 * * page 5, ligne 45 - page 6, ligne 12 * ---	1-10	
A	WO 93 26096 A (LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY) 23 Décembre 1993 * abrégé * * page 11, ligne 31 - page 12, ligne 12 * -----	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)  H04L
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 12 Décembre 1996	Examineur Scriven, P
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1501 03.82 (P04C02)